

寝室における年間の快適温度と睡眠の質に関する研究

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 西村美沙紀^{*1}正会員 H.B.リジャル^{*2}

寝室 睡眠 温冷感
Griffiths 法 快適温度 適応モデル

1. はじめに

現代において、肉体的、精神的に多大な疲労を感じる状況が増えている。睡眠は、毎日そのような疲労を減少、回復させるような効力があると思われる。また、人は寝ている間に成長ホルモンを分泌し、筋肉の成長を促進させる等の効力がある。人は冬眠する熊のように寝だめすることはできない。よって、日頃から睡眠環境を継続するため、睡眠は現代社会において極めて重要であるといえる。しかしながら、日本の睡眠環境、特に夏においては、暑い、湿度が高い等の理由で、睡眠中に目が覚める、寝付けない、汗をかく等の症状がでる。冬は乾燥しているため、体がかゆくなる等が挙げられ、一年中睡眠を妨げられるため、十分な睡眠をとることがなかなかできない。そのため、近年の睡眠に関する様々な研究がある。

実際に住んでいる寝室の快適温度、睡眠環境に関する研究が少ないため、居住者の寝室での快適性や睡眠の実態は明らかではない。日常生活に着目した快適温度に関する研究はみられる¹⁾、寝室の就寝前と起床後と比較した快適温度に関する研究が少ない¹⁾。

本研究では、関東地方の住宅を対象に年間の寝室の温熱環境の実測と居住者の熱的主観申告調査や睡眠の質に関する調査を行い、実際の寝室の快適温度や睡眠の質について明らかにする。

2. 調査方法

調査時期は2010年7月6日～2011年7月12日の約1年間である。調査対象住宅は、東京都で3軒と神奈川県で8軒である。世帯数は11世帯で、申告者数は全29名である(男性:15人、女性:14人)。申告者の年齢は13～64歳である。申告数は2,578個である。

測定方法は、居住者の各寝室に株式会社 T&D の「RTR-52A おんどとり Jr. (Made In Japan)」を設置し、10分間隔で測定した。外気温は最も近い気象台の値を用いた。就寝前と起床後に温冷感に関しての申告、起床後に睡眠の質に関しての申告を収集した(表1～3)。

3. 分析方法

3.1 快適温度の算出方法

本研究の快適温度は、回帰法と Griffiths 法を用いて計算する⁶⁾。回帰法とは、室温と温冷感申告の一次回帰から、「4. どちらでもない」に相当する温度を求めて快適温度とする方法である。フィールド調査では回帰法による快適温度の算出が上手くいかない場合もあるため、次の式を用いて Griffiths 法でも快適温度を検証する。

$$T_c = T_i + (4 - C) / a^* \quad (1)$$

T_c : Griffiths 法による快適温度(°C)、 T_i : 室温(°C)、 C : 温冷感申告、 a^* : 回帰係数(0.5と仮定)である。

3.2 移動平均外気温の算出方法

移動平均外気温(T_{rm} , °C)は、日平均外気温を指数的に重みづけした温度であり、下記の式を用いて算出する⁴⁾。

$$T_{rm} = \alpha T_{rm-1} + (1 - \alpha) T_{od-1} \quad (2)$$

T_{rm-1} は前日の移動平均外気温、 T_{od-1} は前日の日平均外気温である。 α は0と1の間の定数で、移動平均外気温に対する反応速度であり、本研究では0.8と仮定した。

表1. 温冷感の尺度

寝室の気温を今、どのように感じていますか。	
尺度	項目
1	非常に寒い
2	寒い
3	やや寒い
4	どちらでもない
5	やや暑い
6	暑い
7	非常に暑い

表2. 睡眠の質の尺度

今日の睡眠の質はどうでしたか。	
尺度	項目
1	非常に良かった
2	良かった
3	どちらでもない
4	悪かった
5	非常に悪かった

表3. 睡眠の質の理由の尺度

睡眠の質が悪かった場合、その理由の程度を選んで下さい。	
尺度	項目
1	暑かったため
2	寒かったため
3	湿度が高かったため
4	体が痒かったため
5	騒音が大きかったため
6	眠りにつなかなかったため
7	睡眠中に目が覚めたため
8	睡眠時間が短かったため
9	空腹だったため
10	寝具が適切ではなかったため

各項目の評価尺度は下記に示す。

- 理由ではない
- 少し理由である
- 理由である
- かなり理由である

4. 結果と考察

4.1 申告中の温熱環境

居住者の熱的快適性評価について明らかにするために、

室温と相対湿度についての分析を行う。分析において、冷房の使用の有無の違いを比較するために、冷房を使用していない場合を自然換気モード（以下 NV モード）、冷房やドライを使用している場合を冷房モード（以下 AC モード）、エアコン「暖房」やヒーターを使用している場合を暖房モード（以下 HT モード）とする。なお、AC モードにはドライモードも含めた。申告中の室温（相対湿度）は、NV モードで 24.0℃（66%）、AC モードで 27.7℃（57%）、HT モードで 21.0℃（53%）である（図 1）。図 2 は各モードの空気線図で表したものである。

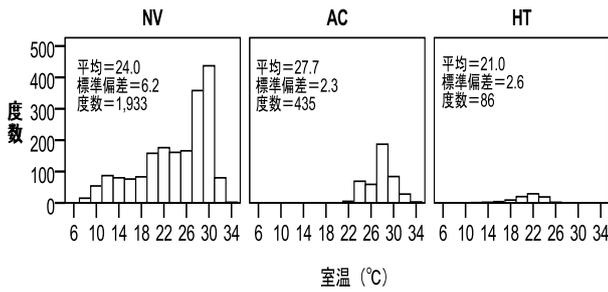


図 1 申告中の室温の分布

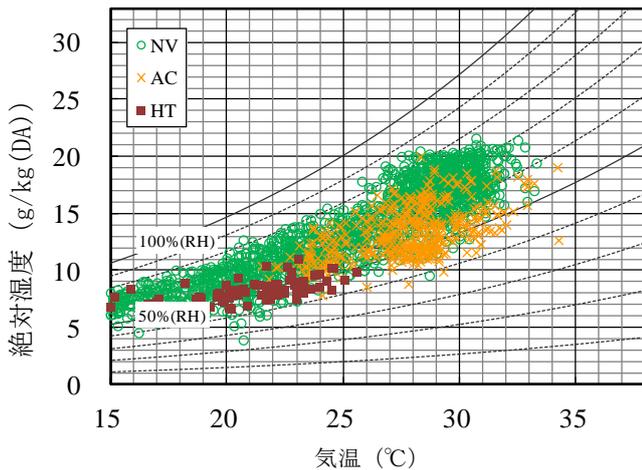


図 2 各モードの空気線図

4.2 温冷感の分布

居住者の温熱感覚を明らかにするために、温冷感申告を NV、AC と HT モードに分けて示す。平均温冷感申告は NV モードで 4.0、AC モードで 4.3、HT モードで 3.8 であり、「4.どちらでもない」申告が多いが NV モードが一番ちょうど良いと感じている（図 3）。

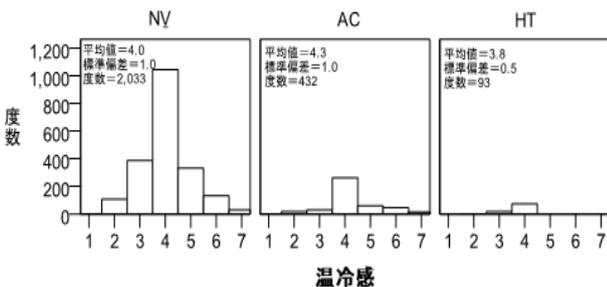


図 3 年間の温冷感申告

4.3 回帰法による快適温度の予測

居住者の就寝前と起床後の快適温度を明らかにするために、回帰法を用いて快適温度を予測する。図 4 に NV、AC と HT モードの温冷感申告と室温の散布図を示す。図中には回帰線を示す。回帰分析から次の回帰式が得られた。

NV モード

$$C = 0.109 T_i + 1.448 \quad (n=1929, r=0.68, p<0.001) \quad (3)$$

AC モード

$$C = 0.135 T_i + 0.513 \quad (n=432, r=0.31, p<0.001) \quad (4)$$

HT モード

$$C = 0.076 T_i + 2.164 \quad (n=86, r=0.43, p<0.001) \quad (5)$$

C : 温冷感申告、 T_i : 室温 (°C)、n : サンプル数、r : 相関係数、p : 有意水準である。温冷感申告が「4.どちらでもない」の時、快適温度は NV モードで 23.4℃、AC モードで 25.8℃、HT モードで 24.1℃であり、NV モードが最も低く、AC モードが最も高い。

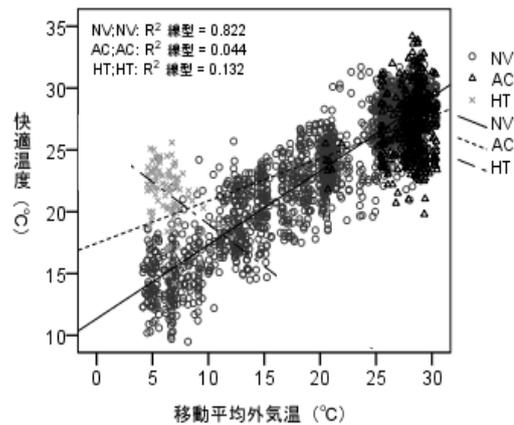


図 4 年間の温冷感と室温の関係

4.4 Griffiths 法による快適温度の予測

Griffiths 法でも NV、AC と HT モードの快適温度を検証する。図 5 に快適温度の分布、表 4 に快適温度の平均値を示す。Griffiths 法による平均快適温度は、NV モードで 23.9℃ (n = 1,929)、AC モードで 27.1℃ (n = 432)、HT モードで 21.5℃ (n = 86) であり、AC モードが一番高く、HT モードが一番低い結果である。NV モードでは、10.7℃の季節差があり、既往研究の結果と類似している。

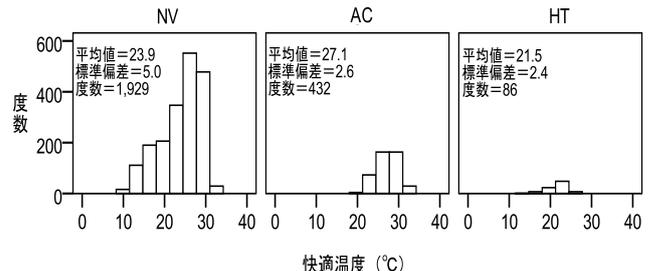


図 5 年間の Griffiths 法の快適温度

表4 季節別の Griffiths 法の快適温度

季節	Mode	度数	平均値(°C)	標準偏差(°C)
夏	NV	846	27.5	2.2
	AC	328	27.4	2.6
秋	NV	504	24.4	3.5
	AC	104	26.3	2.4
冬	NV	306	16.8	3.3
	HT	73	21.5	2.4
春	NV	273	19.9	4.0
	HT	13	22.0	2.1
年間	NV	1,929	23.9	5.0
	AC	432	27.1	2.6
	HT	86	21.5	2.4

4.5 就寝前後の快適温度の比較

就寝前と起床後の快適温度の差を Griffiths 法を用いて比較する(表5)。夏はどのモードでも就寝前後でもあまり差はない。秋は NV モードの方が快適温度は低く、どちらの Mode も就寝前の方が快適温度は高い。冬は NV モード NV モードの方が低く、どちらのモードも就寝前の方が快適温度は高い。春は NV モードの方が快適温度は低く、就寝前の方が快適温度は高い。居住者は、就寝前は室内が暖かい状態で就寝していることがわかる。

表5 就寝前後の快適温度

季節	Mode	就寝前後	Griffiths法(°C)	
			T_{cg}	SD
夏	NV	前	27.4	2.2
		後	27.5	2.3
	AC	前	27.3	2.5
		後	27.5	2.8
秋	NV	前	24.6	3.3
		後	24.2	3.7
	AC	前	26.6	2.3
		後	26.0	2.5
冬	NV	前	17.4	3.2
		後	16.3	3.3
	HT	前	21.8	2.3
		後	21.6	2.6
春	NV	前	20.4	3.9
		後	19.4	4.0
	HT	前	22.6	1.6
		後	19.5	1.9

T_{cg} :Griffiths法による快適温度(°C)、SD:標準偏差(°C)

4.6 適応モデル(Adaptive Model)の提案

適応モデルとは、外気温を用いて室内快適温度を予測するモデルである。本研究は寝室の適応モデルを提案する。図6に Griffiths 法による快適温度(T_c , °C)と移動平均外気温(T_m , °C)を示す。本研究で移動平均外気温(T_m)を用いたのは、日平均外気温よりも快適温度との関連性が高いためである。得られた回帰式は次に示す。

NV モード

$$C = 0.598T_i + 11.347 \quad (n=1929, r=0.91, p<0.001) \quad (6)$$

AC モード

$$C = 0.343 T_i + 17.448 \quad (n=432, r=0.21, p<0.001) \quad (7)$$

HT モード

$$C = -0.683T_i + 25.827 \quad (n=86, r=0.36, p<0.001) \quad (8)$$

C: 温冷感申告、 T_i : 室温(°C)、n: サンプル数、r: 相関係数、p: 有意水準である。CEN 基準⁶⁾の NV モードの回帰係数は 0.33 であり、本研究の方が高いため、今後さらに検討する必要がある(図7)。年間の式を用いて移動平均外気温 25°C で室内快適温度を予測すると、NV モードで 26.2°C、AC モードで 26.0°C となる。HT モードはほとんどの外気温が低いため、設定を低くする。HT モードでは移動平均外気温 10°C の時 19.0°C になる。

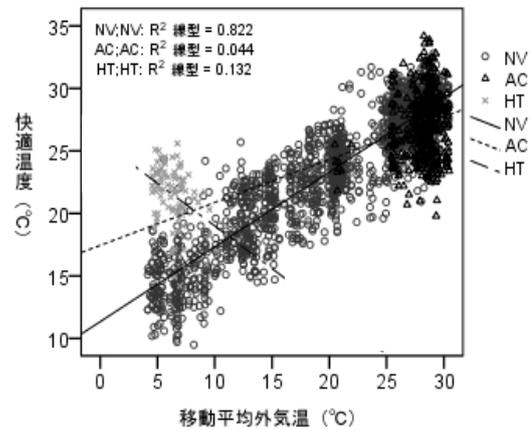


図6 年間の快適温度と外気温の関係

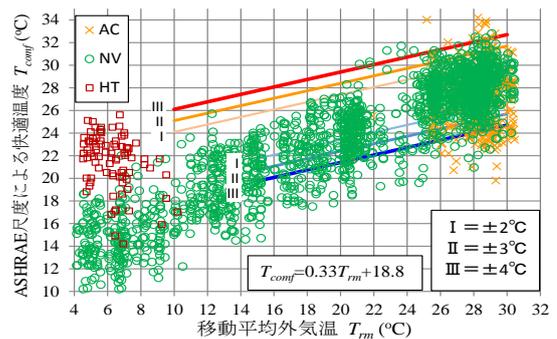


図7 CEN 基準と本研究の比較

4.7 睡眠の質

居住者の睡眠の質を評価するために、居住者の起床後データを分析する。図8に起床後の睡眠の質の分布を示す。睡眠の質の平均値は 2.5 であり、「2. 良かった」「3. どちらでもない」の申告が最も多い。睡眠の質で「4. 悪かった」と「5. 非常に悪かった」の割合は全体で 8.9% (n=114)、NV モードでは 8.7% (n=97)、AC モードでは 11.7% (n=16) である。居住者のほとんどは現状の睡眠

環境に満足していることがわかる。その中でも、居住者はACモードの方が少し睡眠の質を悪く感じていた。

睡眠の質が悪かった場合、その理由の程度について申告してもらった。居住者が睡眠の質が悪いと感じた項目の中で「1. 暑かったため」が最も多かった。図9に「1. 暑かったため」「3. 湿度が高かったため」の理由の程度の分布を示す。睡眠の質が悪い理由の中で「1. 暑かったため」「3. 湿度が高かったため」の「4. かなり理由である」申告が多かった。これは寝室の気温が高いためと考えられ、既往研究の結果とも類似している。

夏と冬の睡眠が悪かった時の理由の程度で最も多いのが、夏は「1. 暑かったため」、冬は「6. 眠りにつかなかったため」「7. 睡眠中に目が覚めたため」「8. 睡眠時間が短かったため」が多い。

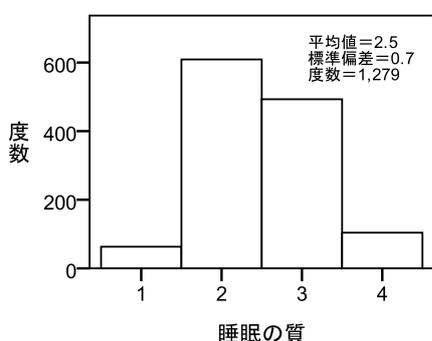


図8 起床後の睡眠の質の分布

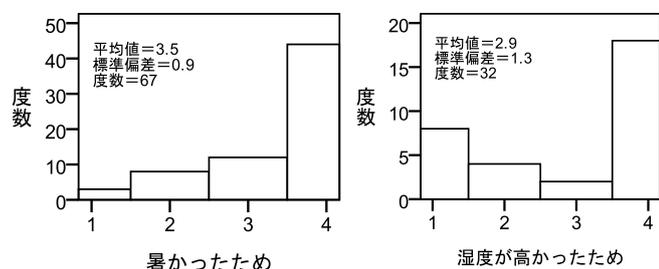


図9 睡眠の質が悪かった理由の程度

5. まとめ

関東地域の住宅を対象に、寝室における居住者の熱的主観申告と睡眠の質に関する調査を年間で行い、下記の結果が得られた。

1. 平均温冷感申告はNVモードで4.0、ACモードで4.3、HTモードで3.8であり、どのモードでも「4. どちらでもない」申告が多いことから、居住者は寝室環境に満足しているといえる。
2. 回帰法で算出した快適温度はNVモードで23.4℃、ACモードで25.8℃、HTモードで24.1℃である。Griffiths法で算出した快適温度は、NVモードで23.9℃、ACモードで27.1℃、HTモードで21.5℃で

ある。

3. 寝室の快適温度と外気温の関連性があるため、提案した適応モデルを用いて快適温度が予測できる。
4. 起床後に睡眠の質を悪く感じた割合は全体で8.9%であり、ほとんどの居住者は満足しているが、睡眠の質が悪い理由の中でも「1. 暑かったため」「3. 湿度が高かったため」の「4. かなり理由である」申告が多い。

謝辞

本研究を進めるにあたり、実測調査と申告調査に居住者の方々に多大なご協力を頂きました。また、データ入力に同僚の梅田真衣、小澤真之、勝野二郎、酒井匠、重野悠、田屋博貴、細川陽平、室本真紀と吉村咲希にご協力を頂きました。ここに記して、心より感謝の意を表します。

参考文献

1. 西村美沙紀、H.B.リジャル：夏と秋における寝室の快適温度と睡眠に関する研究、*日本建築学会関東支部研究報告書*、pp.109-112、2011.3.
2. 藏澄美仁、石井仁、深川健太、大和義昭、飛田国人、土川忠浩、松原斎樹：睡眠環境評価に向けた人体の熱収支に関する研究—サーマルマネキンによる仰臥位姿勢の人体の放射および対流熱伝達率の測定—、*日本生理人類学会誌*、pp.17-26、2008.2.
3. 中谷岳史、松原斎樹、藏澄美仁：関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査—夏季の中立温度と許容範囲—、*日本建築学会環境系論文集 第597号*、pp. 51-56、2005.11
4. リジャル H.B、梅宮典子訳：建物における熱的快適性の適応的基準 (Nicol F.)、*空気調和・衛生工学会 第83巻 第6号*、pp. 421-427、2009.6
5. Humphreys M. A. (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors, *Building Research and Practice (J. CIB)* 6(2), pp. 92-105.
6. Comite´ Europe´en de Normalisation (CEN) (2007) EN 15251: Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, CEN, Brussels.
7. Nicol F., Roaf S., Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project, *Energy and Buildings* 23, pp. 169-174.

*1 東京都市大学環境情報学部 学部生

*2 東京都市大学環境情報学部 講師・博士(工学)